



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “หยั่งรากศิษย์ก้นกุฏิ-การบุกเบิกงานวิจัยด้าน
นาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนฟotonิกส์”
(2553-2556)

โดย ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว และคณะ

ธันวาคม 2556

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ “หยั่งรากศิษย์ก้นกุฏิ-การบุกเบิกงานวิจัยด้าน
นาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์”
(2553-2556)

คณะผู้วิจัย

- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1. ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว | 2. รศ. ดร. บรรยง โตประเสริฐพงศ์ |
| 3. รศ. ดร. ชุมพล อंतरเสน | 4. รศ. ดร. สมชัย รัตนธรรมพันธ์ |
| 5. รศ. ดร. ทรงพล กาญจนชูชัย | 6. อ. ดร. ชรินทร์ วิศวินฐานนท์ |
| 7. นาย สุภโชค ไทยน้อย | 8. นาย พรชัย ช่างม่วง |

สังกัด

ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัยสกอ. สกว. และจุฬาฯ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการสนับสนุนการวิจัยอย่างต่อเนื่องของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้แก่โครงการวิจัยด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์ที่กระผมเป็นผู้รับผิดชอบ เริ่มต้นตั้งแต่โครงการวิจัยประเภททุนองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นพื้นฐานต่อการพัฒนา ในช่วงปี 2544-2545 ซึ่งกระผมทำหน้าที่เป็นรองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและคณบดีของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ แม้จะทำงานบริหาร แต่ก็สามารถทำงานวิจัยควบคู่กันได้โดยมีผลงานวิจัยที่มีคุณภาพตามเป้าหมายของทุนสนับสนุน นับเป็นบทพิสูจน์การทำวิจัยในขณะที่ทำหน้าที่บริหารได้ เพราะสามารถใช้เทคนิคการบริหารจัดการ โดยอาศัยการทำงานวิจัยเป็นทีม จึงขอขอบคุณคณาจารย์เพื่อนร่วมงาน และลูกศิษย์ (ศิษย์ก้นกุฏิ) ทุกคน เมื่อหมดหน้าที่งานบริหารแล้ว สกว. ยังให้ทุนส่งเสริมกลุ่มวิจัย (เมธีวิจัยอาวุโส) ต่อเนื่อง 2 ครั้ง ตั้งแต่ในช่วงปี 2547-2550 และ 2550-2553 และทุนศาสตราจารย์วิจัยดีเด่น ในช่วงปี 2553-2556 ทำให้งานวิจัยที่บุกเบิกในวิทยาการใหม่ ๆ สามารถทำได้ต่อเนื่อง และประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย

ผลงานวิจัยที่เกิดขึ้นจากโครงการวิจัยมีทั้งบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารทั้งในและต่างประเทศ การนำเสนอผลงานวิจัยต่อการประชุมนานาชาติ รวมทั้งการบรรยายรับเชิญต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ ตลอดจนผลงานที่นำไปจดสิทธิบัตร และการจัดทำตำราที่เป็นหนังสือเรียน ที่รวบรวมจากประสบการณ์ทำวิจัยอันยาวนานของผู้วิจัย

นอกจากการสนับสนุนจาก สกว. ร่วมกับ สกอ. และจุฬาฯ ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ยังได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัยจากสำนักงานวิจัยและพัฒนาด้านอวกาศของกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกาและจากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยมีงบประมาณวิจัยสมทบจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อใช้ซื้อเครื่องมือวิจัยด้านการวิเคราะห์ และเครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำไมเลกุลชุดที่สองด้วย

นิสิตในระดับบัณฑิตศึกษาส่วนหนึ่งได้รับทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก ได้รับทุนการศึกษาจากโครงการ “ศิษย์ก้นกุฏิ” ของศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษไฟฟ้ากำลังของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและนิสิตจากต่างประเทศในโครงการวิจัยนี้ได้รับทุนการศึกษาจากโครงการ AUN/SEED-Net ในการศึกษาทั้งระดับปริญญาโทและเอก

ความร่วมมือด้านวิจัยจาก สถาบันวิจัยแห่งชาติฝรั่งเศส (LAAS-CNRS), Max Planck Institute, University of Tokyo, Tokyo Institute of Technology, Waseda University, National University of Singapore และ University of California at San Diego ยังมีส่วนกระตุ้นให้เกิดบรรยากาศการวิจัยในระดับแนวหน้าได้ คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณ Prof. A. Martinez, Dr. Francois Lozes, Mr. Bernard Rousset, Dr. Karl Eberl, Dr. Oliver Schmidt, Prof. Yasuhiko Arakawa, Prof. Shunri Oda, Prof. Y. Horikoshi, Prof. Yoshiaki Nakano, Prof. Soo Jin Chua, Prof. Charles W. Tu, and Dr. Chantal Fontaine ในไม่ตรีจิตและความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : DPG5380002

ชื่อโครงการ : หัยรากศษย์กัณกฎ-การนุกเบกงานวิจัยค่านานาโนอเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์

ชื่อนักวิจัย : ศ. ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว รศ. ดร. บรรยง โตประเสริฐพงศ์
 รศ. ดร. ชุมพล อันตรเสน รศ. ดร. สมชัย รัตนธรรมพันธ์
 รศ. ดร. ทรงพล กาญจนชูชัย อ. ดร. ชรินทร์ วิสวินธานนท์
 นาย สุภโชค ไทยน้อย นาย พรชัย ช่างม่วง
 ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะเวลาโครงการ : 3 ปี (2553-2556)

โครงการวิจัย “หัยรากศษย์กัณกฎ: การนุกเบกงานวิจัยค่านานาโนอเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์” ได้รับทุน “ศาสตราจารย์ดีเด่นของ สกว.” ในระยะปี 2010-2013 มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ ได้แก่ การพัฒนากำลังคนในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้วยการวิจัยพื้นฐานด้านนาโนเทคโนโลยี ส่วนที่สร้างคนได้แก่เน้นการดูแลนิสิตบัณฑิตศึกษาโดยเฉพาะระดับปริญญาเอก ที่คัดเลือกจากนิสิตระดับปริญญาตรีที่มีผลการเรียนดี และต่อออกเป็นนักวิจัยหลังปริญญาเอก (Post Doc) ตลอดจนออกไปเป็นกำลังสำคัญทั้งในด้านอุตสาหกรรมและแวดวงวิชาการ ส่วนที่เป็นงานวิจัยนั้นเน้นการนุกเบกศาสตร์ค่านานาโนอเล็กทรอนิกส์ และนาโนโฟโตนิกส์ที่ได้พัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2000 ด้วยทุนสนับสนุน “เมธีวิจัยอาวุโสของสกว.”/ ทุน AOARD ของสหรัฐอเมริกา/ ทุนของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในช่วงของการรับทุน “ศาสตราจารย์ดีเด่นของสกว.” เป็นเวลา 3 ปีนี้ มีผลงานวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างนาโนที่เป็นควอนตัมดอต ควอนตัมดอตโมเลกุล ควอนตัมริงค์ ที่ทำจากสารประกอบกึ่งตัวนำกลุ่ม III-V ทั้งที่เป็นชนิดอาร์เซไนด์ ฟอสไฟด์และแอนติโมนไนด์ โดยใช้เทคโนโลยีการปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลที่สามารถควบคุมโครงสร้างนาโนในระดับอะตอมและโมเลกุลบนฐานผลึกทั้งที่เป็นแคลไซต์อาร์เซไนด์และเจอร์มันเนียม การวิเคราะห์ผลด้วยจุลทรรศน์แรงอะตอม ทำให้สามารถเห็นโครงสร้างนาโนอย่างละเอียดซึ่งสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการสอดแทรกของลำอิเล็กตรอนที่วัดขณะปลูกโครงสร้างนาโน การประเมินผลจากสเปกตรัมการเปล่งแสงจากโครงสร้างนาโนด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนซ์ ทำให้เข้าใจถึงคุณสมบัติพื้นฐานทั้งทางกายภาพ ทางไฟฟ้าและทางแสง ซึ่งจะเป็นข้อกำหนดที่สำคัญในการประยุกต์

เป็นสิ่งประดิษฐ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์เช่น ควอนตัมคอมพิวเตอร์ ควอนตัมดอทเลเซอร์
ควอนตัมดอทโซล่าเซลล์ ฯลฯ ซึ่งจะเป็นวิทยาการใหม่ของโลกในอนาคต

Abstract

Project Code : DPG5380002

Project Title : Sis Konkuti Rooted-Frontier Research on Nanoelectronics and Nanophotonics

Investigator	: Prof. Dr. Somsak Panyakeow	Assoc. Prof. Dr. Banyong Toprasertpong
	Assoc. Prof. Dr. Choompol Antarasena	Assoc. Prof. Dr. Somchai Ratanathamphan
	Assoc. Prof. Dr. Songphol Kanjanachuchai	Lecturer Dr. Chanin Wissawinthanon
	Mr. Supachok Thainoi	Mr. Pornchai Changmoang
	Semiconductor Device Research Laboratory, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University	

Project Period : 3 years

This research project on “Rooted Sis Konkuti: Fundamental Research on Nanoelectronics and Nanophotonics” has been supported by “TRF Distinguished Research Professor” during 2010-2013. Two main objectives are human development in S&T and by doing a fundamental research on nanotechnology. Man power development is focused on graduated students at Ph.D. level with a recruitment process from undergraduate students with good academic performance. After some experience as post doctoral researcher, they become driving force for local industry and academic community. The fundamental research on nanoelectronics and nanophotonics has been conducted since 2000 with the series of supports from “TRF Senior Research Scholar” / “AOARD-USA” / “National Nanotechnology Center” and Chulalongkorn University.

During 3 years of “TRF Distinguished Research Professor”, research outputs on nanostructures, i.e. quantum dots, quantum dot molecules, quantum rings, etc., using III-V compound semiconductors like arsenide, phosphide and antimonide being grown by molecular beam epitaxy which can control those nanostructures at atomic scale on Gallium Arsenide and Germanium substrates. Analytical work by atomic force microscopy (AFM) gives us the details of those nanostructures being related to growth informations from reflected high energy electron diffraction (RHEED). Emission spectrum from nanostructures by photoluminescence technique gives us the understanding of their physical, electrical and optical properties, which is vital in nanoelectronic and nanophotonic device applications, such as quantum computer, quantum dot lasers, quantum dot solar cells. These are new wisdom for the future global society.

Executive Summary

The key outputs of this research project “Rooted Sis Konkoti: Fundamental Research on Nanoelectronics and Nanophotonics” are S&T human resource development and scientific works on nanotechnology. Recent progress on nano-scale electronics inspires young engineers to search for new applications in quantum computation, quantum devices which are fast, energy efficient and less material consumption. Some electrical engineering undergraduate students with good academic performance are recruited to continue their higher education to Ph.D. level and later-on to post doctoral research on this challenging field of study. They are called “Sis Konkuti” who become hope for scientific development in our country. Some of them are active in industry, research institutes and universities.

This research project has been supported by many organizations during the past decades to set up advanced research equipments and infrastructure. Two chambers of molecular beam epitaxy (MBE) are the main research tool to create different kinds of nanostructures like quantum dots, quantum dot molecules, quantum rings, etc. from III-V compound semiconductors. During 3 years of TRF Distinguished Research Professor, more effort on Antimonide (Sb) based nanostructures is focused. Combination of III-V compound semiconductor with elemental Germanium (Ge) substrates is another new approach of this project. They are potentials for new generation of high performance solar cells and infrared detectors.

In 2010, 2011, 2012 and 2013, 27 international papers have been published in several journals such as Journal of Crystal Growth, Journal of Microelectronic Engineering, Journal of Nanoscience and Technology, Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells. Contributed chapter to a text book on “Quantum Dot Molecules” are also invited by the well known editor, Prof. Zhiming Wang. A book written in Thai on “Nanoelectronics and Nanophotonics” is in press by Chulalongkorn University Press. This book is aimed to inspire young students both in high school and university levels.

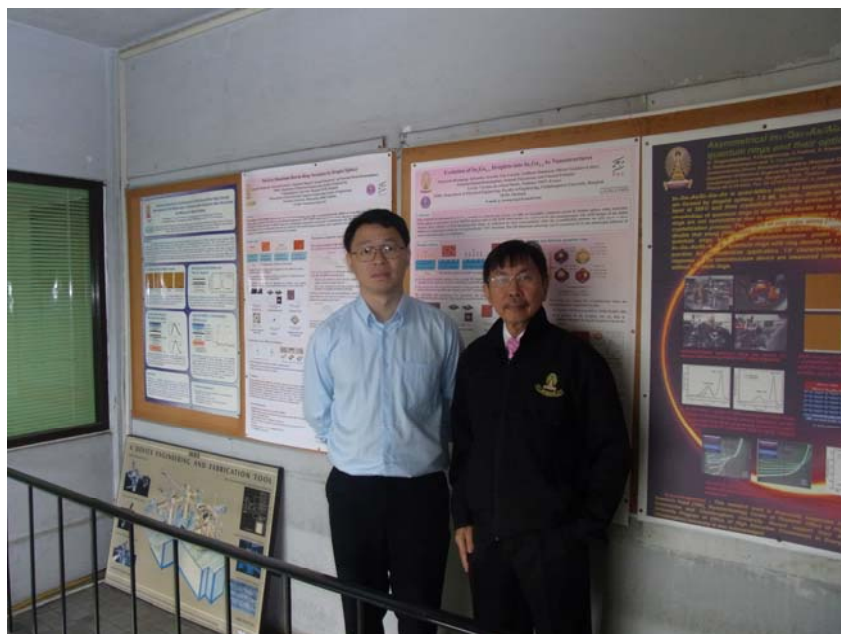
During the past 3 years, 23 and 33 papers have been presented at National and International Conferences. Some of them are invited and plenary talks at different conferences both in Thailand and at foreign countries.

In addition, 3 patents are submitted in 2013.

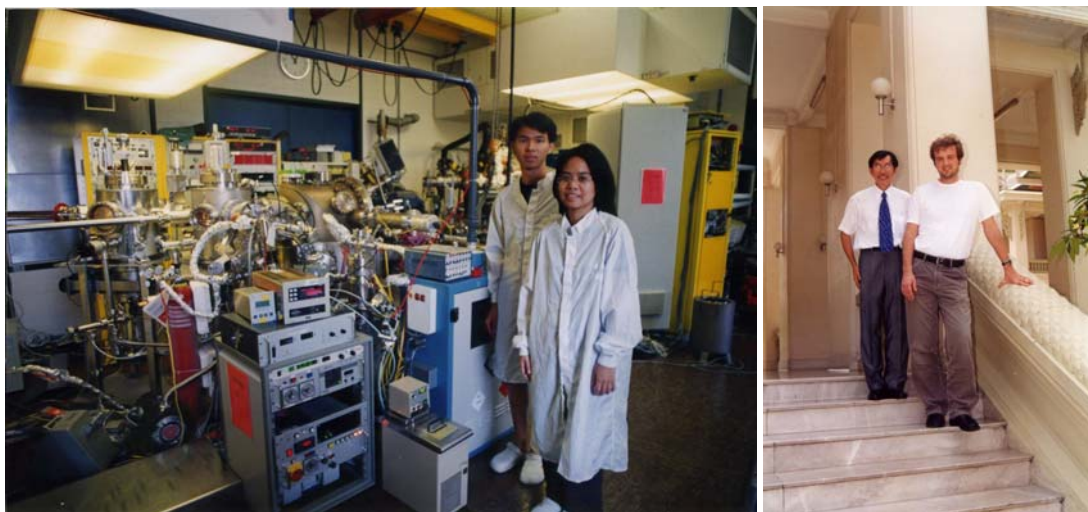
SIS KON KUTI



Dr. Suwat Sopitpan with Prof. Inez Isele (co-advisor from Universitat der Bundeswehr, Munchen), he is now senior engineer at Thailand Microelectronic Center (TMEC), NSTDA.



Dr. Suwit Kiravittaya, he spent 8 years in Germany (Max Planck Institute and Nanoscience Research Institute at Dresden) after his Ph.D. graduation from Chulalongkorn University. He is now lecturer at Naresuan University, Pisanurok.



Dr. Rudeesun Songmuang did part of her Ph.D. thesis at Max Planck Institute, Stuttgart having Dr. Oliver Schmidt as her co-advisor. She is now working as full time researcher at CNRS in Grenoble, France doing research on Silicon nanowires.



Dr. Suwaree Suraprapapich spent one year at UC San Diego with Prof. Charles Tu as her co-advisor during her Ph.D. study at Chulalongkorn University. She was a Post Doctoral researcher at Waseda University in Japan after her graduation. She is now a chief engineer at SEAGATE company in Thailand.



Dr. Wipakorn Jeevasuwan (first right) together with other Sis Kon Kuti is now a Post Doctoral Researcher at AIST, Tsukuba in Japan after her Ph.D. graduation from Chulalongkorn University.

Dr. Ongarj Tangmetajittakul (fourth from right) is now an engineer working on DFB laser for fiber communication at Thailand Furukawa Company in Bangkok.

Dr. Poonyasiri Boonpeng (sixth from right) spent two periods of time doing Post Doctoral research at LAAS CNRS in Toulouse, France.



Dr. Poonyasiri Boonpeng working at LAAS, CNRS in Toulouse for his Post Doctoral research under the supervision of Dr. Fontaine Chantal after his Ph.D. graduation from Chulalongkorn University.



Mr. Nay Myo Tun finished his master degree from Chulalongkorn University. He worked on GaAs transistor for his graduate study. He is now working as a lecturer at a University in Myanmar outside Yangon. He is one of pioneers in developing nanotechnology in Myanmar. (Photo was taken at Inya lake near Aung San Suu Kyi's house in Yangon on 9 November 2013)



Prof. David, head of EE department of Chulalongkorn University joins with Dr. Cho Cho Thet, Dr. Soe Soe Han and Dr. Nanthidar Chit Swe at Rector Office of Yangon University. These 3 Myanmar ladies are alumni of Chulalongkorn University. All of them graduated with Ph.D. degrees from Chulalongkorn University. (This photo was taken at Rector Office of Yangon University on 10 December 2013)

Dr. Cho Cho Thet is now a researcher at Research Institute of Yangon University. She is also an assistant to Rector Office in charge of international affairs of Yangon University in Myanmar.

Dr. Soe Soe Han is now a lecturer at her home-town University outside Yangon.

Dr. Nanthidar Chit Swe is now also a member of Research Institute of Yangon University doing her research on solar cell.

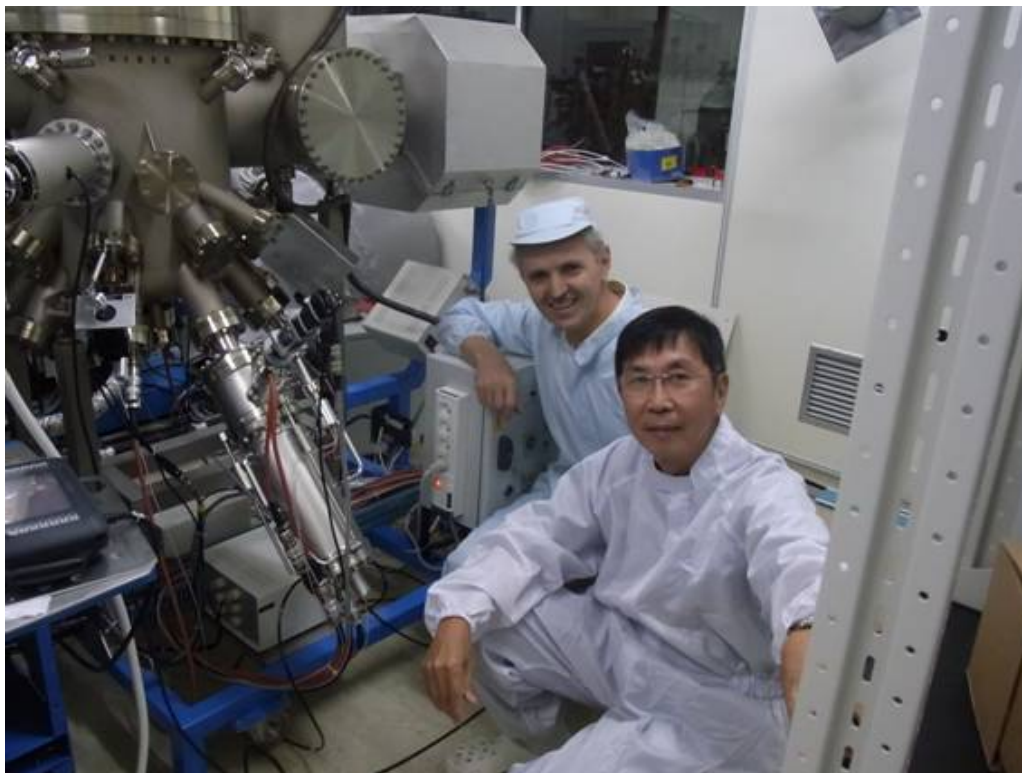
INTERNATIONAL COLLABORATION



Invited talk was given at LAAS, CNRS in Toulouse, France on Quantum Nanostructures for Nanoelectronics and Nanophotonics. Many collaborators including Prof. G. Grataloup, former director of LAAS during 1975-1980, Prof. A. Martinez, Prof. Pierrel, Dr. Francois Rozes, Dr. Chantal Fontaine attended the presentation.



Reception-lunch at LAAS. CNRS, Toulouse after an invited talk.



Dr. Karl Eberl, former MBE group leader of Max Planck Institute and the CEO of MBE Komponent Inc., is our technical collaborator in MBE machine operation and maintenance as well as research on Quantum Nanostructures. He is an expert who assists our research group to start the new project on GaSb quantum dots.



Prof. Yasuhiko Arakawa, University of Tokyo is world class scientist who collaborates with our research group. He was invited to be Ph.D. thesis examination committee member of our several Ph.D. students. He was co-advisor of our Ph.D. student from Myanmar, Dr. Nanthidar Chit Swe and accepted her doing research at his laboratory in Japan during her graduate study at Chulalongkorn University.



Prof. Charles Tu is Vice-Dean at University of California San Diego, USA. He was invited to be one of Ph.D. thesis examination committee members for our several Ph.D. students. He accepted a Thai student, Dr. Suwaree Suraprapapich, doing research at his laboratory at UC San Diego. He is now on sabbatical leave as a visiting professor at National Sun Yat Sen in Taiwan.

ในช่วงของการรับทุน “ศาสตราจารย์ดีเด่นของสกว.” เป็นเวลา 3 ปีนี้ มีผลงานวิจัยเกี่ยวกับโครงสร้างนาโนที่เป็นควอนตัมดอท ควอนตัมดอทโมเลกุล ควอนตัมริงค์ ที่ทำจากสารประกอบกึ่งตัวนำกลุ่ม III-V ทั้งที่เป็นชนิดอาร์เซไนด์ ฟอสไฟด์และแอนติโมนไนด์ โดยใช้เทคโนโลยีการปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลที่สามารถควบคุมโครงสร้างนาโนในระดับอะตอมและโมเลกุลบนฐานผลึกทั้งที่เป็นเกล็ดเลียมอาร์เซไนด์และเจอร์มันเนียม การวิเคราะห์ผลด้วยจุลทรรศน์แรงอะตอม ทำให้สามารถเห็นโครงสร้างนาโนอย่างละเอียดซึ่งสัมพันธ์กับข้อมูลที่ได้จากการสอดแทรกของลำอิเล็กตรอนที่วัดขณะปลูกโครงสร้างนาโน การประเมินผลจากสเปกตรัมการเปล่งแสงจากโครงสร้างนาโนด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนซ์ ทำให้เข้าใจถึงคุณสมบัติพื้นฐานทั้งทางกายภาพ ทางไฟฟ้า และทางแสง ซึ่งจะเป็นข้อกำหนดที่สำคัญในการประยุกต์

เป็นสิ่งประดิษฐ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์เช่น ควอนตัมคอมพิวเตอร์ ควอนตัมดอทเลเซอร์
ควอนตัมดอทโซล่าเซลล์ ฯลฯ ซึ่งจะเป็นวิทยาการใหม่ของโลกในอนาคต

Abstract

Project Code : DPG5380002

Project Title : Sis Konkuti Rooted-Frontier Research on Nanoelectronics and Nanophotonics

Investigator	: Prof. Dr. Somsak Panyakeow Assoc. Prof. Dr. Choompol Antarasena Assoc. Prof. Dr. Songphol Kanjanachuchai Mr. Supachok Thainoi Semiconductor Device Research Laboratory, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University	Assoc. Prof. Dr. Banyong Toprasertpong Assoc. Prof. Dr. Somchai Ratanathamphan Lecturer Dr. Chanin Wissawinthanon Mr. Pornchai Changmoang
--------------	---	--

Project Period : 3 years

This research project on “Rooted Sis Konkuti: Fundamental Research on Nanoelectronics and Nanophotonics” has been supported by “TRF Distinguished Research Professor” during 2010-2013. Two main objectives are human development in S&T and by doing a fundamental research on nanotechnology. Man power development is focused on graduated students at Ph.D. level with a recruitment process from undergraduate students with good academic performance. After some experience as post doctoral researcher, they become driving force for local industry and academic community. The fundamental research on nanoelectronics and nanophotonics has been conducted since 2000 with the series of supports from “TRF Senior Research Scholar” / “AOARD-USA” / “National Nanotechnology Center” and Chulalongkorn University.

During 3 years of “TRF Distinguished Research Professor”, research outputs on nanostructures, i.e. quantum dots, quantum dot molecules, quantum rings, etc., using III-V compound semiconductors like arsenide, phosphide and antimonide being grown by molecular beam epitaxy which can control those nanostructures at atomic scale on Gallium Arsenide and Germanium substrates. Analytical work by atomic force microscopy (AFM) gives us the details of those nanostructures being related to growth informations from reflected high energy electron diffraction (RHEED). Emission spectrum from nanostructures by photoluminescence technique gives us the understanding of their physical, electrical and optical properties, which is vital in nanoelectronic and nanophotonic device applications, such as quantum computer, quantum dot lasers, quantum dot solar cells. These are new wisdom for the future global society.

Executive Summary

The key outputs of this research project “Rooted Sis Konkoti: Fundamental Research on Nanoelectronics and Nanophotonics” are S&T human resource development and scientific works on nanotechnology. Recent progress on nano-scale electronics inspires young engineers to search for new applications in quantum computation, quantum devices which are fast, energy efficient and less material consumption. Some electrical engineering undergraduate students with good academic performance are recruited to continue their higher education to Ph.D. level and later-on to post doctoral research on this challenging field of study. They are called “Sis Konkuti” who become hope for scientific development in our country. Some of them are active in industry, research institutes and universities.

This research project has been supported by many organizations during the past decades to set up advanced research equipments and infrastructure. Two chambers of molecular beam epitaxy (MBE) are the main research tool to create different kinds of nanostructures like quantum dots, quantum dot molecules, quantum rings, etc. from III-V compound semiconductors. During 3 years of TRF Distinguished Research Professor, more effort on Antimonide (Sb) based nanostructures is focused. Combination of III-V compound semiconductor with elemental Germanium (Ge) substrates is another new approach of this project. They are potentials for new generation of high performance solar cells and infrared detectors.

In 2010, 2011, 2012 and 2013, 27 international papers have been published in several journals such as Journal of Crystal Growth, Journal of Microelectronic Engineering, Journal of Nanoscience and Technology, Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells. Contributed chapter to a text book on “Quantum Dot Molecules” are also invited by the well known editor, Prof. Zhiming Wang. A book written in Thai on “Nanoelectronics and Nanophotonics” is in press by Chulalongkorn University Press. This book is aimed to inspire young students both in high school and university levels.

During the past 3 years, 23 and 33 papers have been presented at National and International Conferences. Some of them are invited and plenary talks at different conferences both in Thailand and at foreign countries.

In addition, 3 patents are submitted in 2013.

หยั่งรากศิษย์ก้นกุฏิ

ปรัชญาที่อยู่เบื้องหลังการทำวิจัยของโครงการนี้ ได้แก่ การพัฒนาคนทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี โดยใช้วิทยาการที่พัฒนาขึ้นเองภายในประเทศจึงเปรียบเสมือนการสร้างสำนักวิทยายุทธที่มีอยู่ในวัฒนธรรมตะวันออกที่ใช้การสร้างคนสืบทอดองค์ความรู้อย่างต่อเนื่อง จนวิทยายุทธที่พัฒนาขึ้นจากคนหลาย ๆ รุ่นมีแก่นที่ใช่เป็นที่พึงพิงของสังคมได้

หลังจากการจัดตั้งห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำในปี 1975 โดยเลือกหัวข้อวิจัยหลัก “เซลล์แสงอาทิตย์” มีการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ในแนวทางนี้อย่างต่อเนื่อง ในยุคที่ยังไม่มีหลักสูตรปริญญาเอกในประเทศไทย ลูกศิษย์คุณภาพดีจำนวนมากไปเรียนต่อต่างประเทศ ทำให้เกิดความรู้สึกลึกว่าสร้างคนเพื่อให้ผู้อื่นไปใช้ต่อ เมื่อเริ่มมีการเปิดหลักสูตรปริญญาเอกที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 1985 จึงเกิดแนวคิดที่จะชักชวนให้ลูกศิษย์เก่ง ๆ เรียนต่อในประเทศ ซึ่งเป็นที่มาของโครงการ “ศิษย์ก้นกุฏิ” และได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในช่วงปี 1994-1999

โครงการ “ศิษย์ก้นกุฏิ” ในระยะแรกยังเป็นที่กังขาของผู้คนว่าจะทำได้สำเร็จ และมีคุณภาพเพียงใด เมื่อเวลาผ่านไป “ศิษย์ก้นกุฏิ” เริ่มเป็นรูปเป็นร่าง ลูกศิษย์ระดับปริญญาเอกสามารถผลิตผลงานตีพิมพ์ในระดับนานาชาติที่มีคุณภาพไม่แพ้กับสถาบันอื่น ๆ ในต่างประเทศ สามารถทำงานเคียงคู่กับนักวิจัยเก่ง ๆ ในระดับสากล ลูกศิษย์จำนวนหนึ่งเริ่มกลับมาทำงานในประเทศเพื่อสานต่อการพัฒนาด้านวิชาการและวิชาชีพด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จึงเป็นการ “หยั่งรากศิษย์ก้นกุฏิ” ตามเจตนารมณ์ของโครงการที่ได้วางรากฐานไว้ตั้งแต่ต้น

ศิษย์ก้นกุฏิรุ่นแรก ๆ

เมื่อโครงการ “ศิษย์ก้นกุฏิ” เริ่มเป็นรูปเป็นร่างด้วยการสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งมี ศ. ดร. ยงยุทธ ยุทธวงศ์ เป็นผู้อำนวยการฯ ในขณะนั้น การชักชวนลูกศิษย์ที่เรียนดีในระดับปริญญาตรีให้เรียนต่อในระดับปริญญาโท-เอก จึงเริ่มขึ้นจากการสนับสนุนให้มีทุนทำโครงการนิพนธ์ในขณะที่ยังเรียนอยู่ชั้นปีที่ 4 ให้มีคุณภาพเพื่อเป็นฐานของการทำวิทยานิพนธ์ในระดับปริญญาโท-เอกอย่างต่อเนื่อง งบประมาณสนับสนุนส่วนหนึ่งถูกใช้ไปในการสร้างห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์ของด้านวิศวกรรมไฟฟ้าโดยใช้ฐานข้อมูลของ IEEE ซึ่งครอบคลุมองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมไฟฟ้ากว่า 90% ของโลก ทำให้นิสิตสนุกกับการค้นคว้าเพื่อทำโครงการนิพนธ์อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีนิสิตปีที่ 4 ที่จบปริญญาตรีระดับเกียรตินิยมจำนวนหนึ่งตัดสินใจเรียนต่อในระดับปริญญาโท-เอก ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในโครงการ “ศิษย์ก้นกุฏิ”

ทุนของโครงการ “ศิษย์ก้นกุฏิ” ถูกนำมาใช้ในการสนับสนุนนิสิตที่ถูกคัดเลือกให้เรียนในระดับโท-เอก ในรูปของทุนการศึกษา ทุนไปเสนอผลงานฯ ที่ต่างประเทศ ทุนไปทำวิจัยระดับสั้นที่ต่างประเทศ

(Sandwich Program) และการเชิญศาสตราจารย์และนักวิจัยอาวุโสจากต่างประเทศเป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนร่วมทั้งจาก DAAD ประเทศเยอรมัน จาก CNRS ประเทศฝรั่งเศส จาก AUN/SEED-Net สำหรับนิสิตที่มาจากประเทศใน ASEAN ทุนของมหาวิทยาลัย Waseda ประเทศญี่ปุ่น ทุนจาก UC San Diego ประเทศสหรัฐอเมริกา ทำให้นิสิตปริญญาเอกในโครงการ “ศึกษย์ก้นกุฏิ” ได้มีโอกาสไปทำวิจัยระยะสั้นที่ต่างประเทศโดยมีศาสตราจารย์รับเชิญในประเทศนั้น ๆ เป็นที่ปรึกษาร่วมและมีการตีพิมพ์ผลงานในวารสารวิชาการในระดับนานาชาติร่วมกัน ตัวอย่างของสถาบันวิจัยและมหาวิทยาลัยในต่างประเทศที่นิสิตในโครงการ “ศึกษย์ก้นกุฏิ” ได้ไปหาประสบการณ์วิจัยและการใช้ชีวิตในต่างประเทศเป็นช่วงเวลา 8 เดือน ถึง 1 ปี ได้แก่ Max Planck Institute ที่เมือง Stuttgart สถาบันวิจัยแห่งชาติของฝรั่งเศส (LAAS-CNRS) ที่เมือง Toulouse University of Tokyo และ Waseda University ที่ประเทศญี่ปุ่น UC San Diego ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา

นิสิตที่เรียนจบปริญญาเอกจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีบทบาทสำคัญในวงการต่าง ๆ เช่น ในภาคอุตสาหกรรมที่ต้องใช้การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ สถาบันวิจัยของประเทศและเป็นนักวิชาการและอาจารย์ในมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ในประเทศ ตัวอย่างที่เป็นรูปธรรม ได้แก่ ดร. สุวารี สุรประภาพิชย์ ซึ่งเป็นวิศวกรอาวุโสของบริษัท Sea Gate ดร. สุวัฒน์ ไสภิตพันธ์ ซึ่งเป็นนักวิจัยอาวุโสของ Thailand Microelectronic Center (TMEC) ดร. สุวิทย์ ภิระวิทยา ซึ่งเป็นอาจารย์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร

นิสิตที่เรียนจบปริญญาเอกในประเทศมีผลงานที่เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ ยืนยันได้จากการที่บัณฑิตจากโครงการ “ศึกษย์ก้นกุฏิ” จำนวนหนึ่งเลือกไปทำงานวิจัยในต่างประเทศเพื่อหาประสบการณ์เพิ่มเติม เช่น ดร. ถุติสันต์ ส่องเมือง เป็นนักวิจัยที่ Max Planck Institute ประเทศเยอรมัน และปัจจุบันเป็นนักวิจัยอาวุโสอยู่ที่สถาบันวิจัยแห่งชาติของฝรั่งเศสที่เมือง Grenoble ดร. วิภากร จีวะสุวรรณ เป็นนักวิจัยหลังปริญญาเอกที่สถาบันวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ ที่เมือง Tsukuba ประเทศญี่ปุ่น

การสร้างคนเป็นการลงทุนระยะยาว และต้องใช้เวลาพิสูจน์ที่นานกว่าการพัฒนาในรูปแบบอื่น ๆ ตลอดช่วงการดำเนินการของโครงการ “ศึกษย์ก้นกุฏิ” มีผลผลิตออกมาทั้งจำนวนนิสิตที่เรียนจบปริญญาเอกในประเทศ จำนวนบทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่เพิ่มขึ้น จึงเปรียบเสมือนการปลูกต้นไม้ที่เริ่มโตขึ้น เริ่มออกดอกออกผล การหยั่งรากลึกของโครงการ “ศึกษย์ก้นกุฏิ” ซึ่งหมายถึงต้นไม้ที่ปลูกเริ่มมีรากแก้วที่แข็งแรง มีกิ่งก้านสาขาที่สามารถเป็นร่มเงาแก่พื้นที่ที่ปลูกได้ เม็ดพันธุ์ที่เกิดขึ้นสามารถขยายต่อไปปลูกในพื้นที่อื่น ๆ ได้ ขณะนี้คุณูปกัตของโครงการ “ศึกษย์ก้นกุฏิ” เริ่มแสดงบทบาทในหลาย ๆ วงการ รวมทั้งการเดินทางกลับมาทำงานในประเทศไทย หลังจากหาประสบการณ์ทำงานวิจัยในต่างประเทศหลาย ๆ ปี ลูกศิษย์ดี ๆ เหล่านี้เริ่มเข้ามาทดแทนอาจารย์ที่เคยสอนพวกเขาอย่างมีคุณภาพ นับเป็นการสืบทอดองค์ความรู้ยังมีระบบและต่อเนื่อง ตามเจตนารมณ์ของโครงการ “ศึกษย์ก้นกุฏิ”

กระบวนการหยั่งรากลึกของโครงการ “ศิษย์ก้นกุฏิ” ต้องอาศัยการสร้างองค์ความรู้ที่มีแก่น เป็นความรู้ที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนาสังคม มีความทันสมัยและในขณะเดียวกันมีความท้าทายให้อยากเรียนรู้ ดังนั้นหัวข้อวิจัยที่เลือกใช้ในโครงการนี้ จึงได้แก่ “นาโนอิเล็กทรอนิกส์ และนาโนโฟโตนิกส์” ซึ่งเป็นศาสตร์ใหม่ มีความท้าทายเชิงวิชาการ เป็นองค์ความรู้ที่จะประยุกต์กับโลกในอนาคตที่ต้องการความมีประสิทธิภาพ ประหยัด เช่น นำมาใช้ทำสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์และโฟโตนิกส์ที่ทำงานได้รวดเร็ว สิ้นเปลืองพลังงานน้อยและประหยัดวัสดุ ซึ่งเป็นความต้องการของสังคมยุคใหม่ที่เปลี่ยนเป็นสังคมข่าวสาร สังคมสีเขียว และเป็นสังคมที่มีจิตสำนึกในด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งโยงไปถึงการพัฒนาการสาธารณสุข เนื่องจากสังคมในอนาคตจะมีผู้สูงอายุมากขึ้น รวมถึงการเพิ่มของประชากรโลกที่ทำให้ต้องประหยัดการใช้ทรัพยากร และใช้งานทรัพยากรต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์

หัวข้อวิจัยที่เลือกเป็นแนวทางหลักของโครงการได้แก่ การพัฒนาศาสตร์ด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์ และนาโนโฟโตนิกส์ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ทำต่อเนื่องตั้งแต่การรับทุนสนับสนุน “เมธีวิจัยอาวุโสของสกว.” ของผู้วิจัย

เครื่องมือวิจัยหลักได้แก่ เครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล (Molecular Beam Epitaxy: MBE) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถใช้ ควบคุมโครงสร้างในระดับอะตอมและโมเลกุล ที่มีขนาดนาโนเมตรได้ เช่น โครงสร้างของควอนตัมเวลล์ (Quantum Wells: QWs) ควอนตัมไวร์ (Quantum Wire: QWr) ควอนตัมดอต (Quantum Dots: QDs) ซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอนในโครงสร้างเหล่านี้จะถูกควอนไตน์ นำไปสู่พื้นฐานของการประยุกต์เป็นสิ่งประดิษฐ์ด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์ และนาโนโฟโตนิกส์ตามโครงการวิจัยนี้

วัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในกลุ่มสารประกอบกึ่งตัวนำแบบ III-V ได้แก่ แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide: GaAs) อินเดียมอาร์เซไนด์ (Indium Arsenide: InAs) อินเดียมฟอสไฟด์ (Indium Phosphide: InP) แกลเลียมแอนติโมนไนด์ (Gallium Antimonide: GaSb) ฯลฯ ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอน (Electron Mobility) สูงกว่าของซิลิคอน และยังมีความสามารถในการเปล่งแสงได้ดี เพื่อใช้งานในด้านสิ่งประดิษฐ์โฟโตนิกส์ด้วย เทคโนโลยีปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลนี้สามารถนำมาพัฒนาให้เกิดเทคนิคใหม่ ๆ เช่น Droplet Epitaxy ซึ่งเป็นแนวคิดใหม่ในการสร้างโครงสร้างนาโนโดยการสร้างหยดโลหะกลุ่ม III ก่อนนำอะตอมโลหะกลุ่ม V เข้ามาก่อนตัวให้เป็นผลึกกลุ่ม III-V การควบคุมเงื่อนไขการปลูกผลึกเช่นอุณหภูมิ ความดันของไอโลหะกลุ่ม V จึงหะการปิดเปิดแหล่งกำเนิดสารทำให้เกิดโครงสร้างใหม่ ๆ เช่น ควอนตัมริงก์ (Quantum Rings: QRs) และกลุ่มของควอนตัมดอตได้แก่ ควอนตัมดอตโมเลกุลซึ่งมีลักษณะพิเศษเช่น ควอนตัมดอตริงก์ (Quantum Dot Rings: QDRs) ควอนตัมดอตในวงแหวน (Quantum Dot-in-Ring) ซึ่งเป็นโครงสร้างนาโนที่มีลักษณะพิเศษเป็นนวัตกรรมใหม่ที่มีศักยภาพในการประยุกต์ด้านควอนตัมคอมพิวเตอร์ และด้านสปินทรอนิกส์ (Spintronics)

เทคโนโลยีปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลนั้นนอกจากใช้เป็นเครื่องมือวิจัยพื้นฐานแล้ว ยังสามารถใช้ในการเติมสารเจือปน (Impurities) แก่ โครงสร้างนาโนให้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพีชนิดเอ็น เพื่อสร้างเป็นหัวต่อพีเอ็น (PN Junction) ซึ่งเป็นโครงสร้างสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานของไดโอดของทรานซิสเตอร์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำมาพัฒนามาสู่การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นใหม่ที่ใช้โครงสร้างนาโนได้แก่ ควอนตัมดอทโซล่าเซลล์ (Quantum Dot Solar Cells) แนวคิดที่เป็นนวัตกรรมใหม่ด้านเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็น Original Work ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอไว้ ตั้งแต่ปี 2000 โดยการนำเสนอแนวคิดนี้ไว้ใน Invited Talk ต่อการประชุม IEEE-PVSC (IEEE-Photovoltaic Specialist Conference) และต่อมาได้รับการสนับสนุนจากองค์กรต่างประเทศในช่วงเริ่มต้นของโครงการวิจัยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใหม่นี้จาก AOARD (Asian Office of Aerospace Research and Development) ของกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา Prof. Yasuhiko Arakawa แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของนิสิตปริญญาเอกหลายคนของจุฬาฯ ได้ตีพิมพ์ผลงานวิจัยทางทฤษฎีไว้ใน Applied Physics Letters (APL) ในปี 2012 ที่ระบุว่า ค่าประสิทธิภาพสูงสุดในทางทฤษฎีของควอนตัมดอทโซล่าเซลล์สูงถึง 74.6% ในขณะเดียวกันสามารถทดลองผลิตสร้างควอนตัมดอทโซล่าเซลล์ให้มีประสิทธิภาพได้สูง 18.7% เมื่อทำงานกับแสงอาทิตย์ระดับ 1 sun และเพิ่มขึ้นเป็น 19.4% เมื่อแสงอาทิตย์มีความเข้มสูงเป็น 2 sun ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้โครงสร้างนาโนนี้ได้แก่ เสถียรภาพที่ดีกับแสงความเข้มสูง ดังนั้นจึงมีศักยภาพกับการใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดรวมแสง (PV Concentrator System) ซึ่งจะเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ความเข้มสูงที่สามารถลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าลงได้ เนื่องจากใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ขนาดเล็กแต่มีประสิทธิภาพสูง ควอนตัมดอทที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักของควอนตัมดอทโซล่าเซลล์ในการวิจัยระยะต้น ได้แก่ อินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอท (InAs Quantum Dots) ที่ปลูกบนผลึกฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs Substrates) ในงานวิจัยช่วงที่รับทุน “ศาสตราจารย์วิจัยดีเด่นของ สกว.” นี้มีแนวคิดใหม่ในการพัฒนาควอนตัมดอทที่ใช้สารประกอบกึ่งตัวนำในกลุ่มแอนติโมนิไนด์ (Antimonide: Sb) ซึ่งอาจนำไปสู่สิ่งประดิษฐ์ที่มีสมรรถนะสูงขึ้น และเป็นงานวิจัยใหม่ที่ยังมีการศึกษาไม่มากนัก

ในการเตรียมงานวิจัยใหม่ข้างต้น ได้มีการจัดซื้อและติดตั้งเครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลเครื่องใหม่มูลค่า 20 ล้านบาท ด้วยเงินสนับสนุนการซื้อครุภัณฑ์วิจัยจาก AOARD และศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ และงบประมาณสนับสนุนเสริมจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุลชุดใหม่เป็นรุ่น RIBER Compact TM ของประเทศฝรั่งเศส ซึ่งเป็นผู้ผลิตเดียวกันกับเครื่องมือวิจัยเก่ารุ่น RIBER 32P จึงสามารถต่อเชื่อมเครื่องมือวิจัยทั้งเก่าและใหม่เข้าเป็นระบบเดียวกันได้ การมีเครื่องมือวิจัยใหม่สำหรับโครงการนี้ทำให้มีช่องในการติดตั้งแหล่งกำเนิดสารเพิ่มเติม ทั้งแหล่งกำเนิดสารชนิดใหม่เช่น แอนติโมนิ (Sb) / ฟอสฟอรัส (P) / บิสมัท (Bi) และสารเจือปนเช่น เบลลิเรียม (Be) สำหรับ P-type และซิลิคอน (Si) สำหรับ N-type ทำให้ผู้วิจัยสามารถออกแบบสิ่งประดิษฐ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์ที่จะใช้งานในด้านวิศวกรรม เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ ตัวตรวจวัดรังสีอินฟราเรดที่มีสมรรถนะสูงได้

จุดเด่นที่เป็นงานวิจัยใหม่ในโครงการวิจัยนี้ได้แก่ การศึกษาสารประกอบกึ่งตัวนำในกลุ่มแอนติโมนไนด์ ดังนั้นในช่วงเวลาของโครงการที่ผ่านมาในระยะเวลา 1-2 ปีจึงเป็นการออกแบบและติดตั้งแหล่งกำเนิดสารแอนติโมนิ (Sb) ด้วย Cracker Cell มูลค่ากว่า 2.5 ล้านบาท โดยสั่งซื้อและออกแบบจากบริษัท MBE Komponent ของประเทศเยอรมัน ซึ่งมี Dr. Karl Eberl เป็นที่ปรึกษาในงานบุกเบิกชิ้นนี้ Dr. Karl Eberl เคยเป็นนักวิจัยอาวุโสของ Max Planck Institute และเคยเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของนิสิตปริญญาเอกของจุฬาฯ ด้วย สารประกอบกึ่งตัวนำในกลุ่มแอนติโมนไนด์ได้แก่ แกลเลียมแอนติโมนไนด์ (GaSb) และอินเดียมแอนติโมนไนด์ (InSb) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะพิเศษที่น่าสนใจ และยังมีการศึกษาวิจัยไม่มากนัก กล่าวคือ GaSb/GaAs จะเป็น Type II Nanostructure จึงมีคุณสมบัติทางควอนตัมที่แตกต่างไปจาก InAs/GaAs ซึ่งเป็น Type I Nanostructure ส่วน InSb เป็นสารกึ่งตัวนำที่แถบพลังงานแคบมาก และมีค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอนสูงมาก จึงมีศักยภาพในสิ่งประดิษฐ์ที่มีคุณสมบัติพิเศษหลายอย่าง เช่น การดูดกลืนแสงอินฟราเรด และการทำงานด้านอิเล็กทรอนิกส์ความเร็วสูง การศึกษาวิจัยสารประกอบกึ่งตัวนำในตระกูลแอนติโมนิจึงเป็นงานวิจัยที่ท้าทาย และมีเนื้อหาทางวิชาการที่ต้องการความเข้าใจในเชิงพื้นฐานอีกมาก

ในการศึกษาวิจัยสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ GaAs Substrates เป็นผลึกฐานเพื่อสร้างโครงสร้างนาโนไม่ว่าจะเป็น InAs/GaAs หรือ GaSb/GaAs จะเป็นแนวทางวิจัยปกติทั่วไป แต่ผลึกฐานที่ใช้ GaAs นั้นมีราคาแพง จึงมีแนวคิดใหม่ที่จะใช้ผลึกฐานที่ทำจากเจอร์เมเนียม (Germanium: Ge) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดที่เป็นธาตุ เช่นเดียวกับซิลิคอน (Silicon: Si) ซึ่งมีใช้งานอย่างกว้างขวางในทางอิเล็กทรอนิกส์ปัจจุบัน ผลึก Ge นั้นมีขนาดของ Lattice Constant ที่ใกล้เคียงกับ GaAs ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะปลูกสารประกอบกึ่งตัวนำในตระกูล GaAs บน Ge Substrates แม้ว่าจะมีความแตกต่างที่ GaAs เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำกลุ่ม III-V ส่วน Ge เป็นสารกึ่งตัวนำกลุ่ม IV การใช้สารทั้งสองชนิดจึงเป็นลูกผสมระหว่าง Polar และ Non-Polar Semiconductors การก่อตัวของผลึก GaAs บน Ge จึงขึ้นกับว่า Ga หรือ As จะเป็นอะตอมชั้นแรกบนผิวของ Ge ผลึก GaAs ที่เกิดขึ้นจึงมีลักษณะเป็น Anti-Phase Domains (APD) สลับเปลี่ยนกันอยู่บน Ge Substrates การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพื้นฐานของเกิด GaAs APDs จึงเป็นกุญแจสำคัญหากจะประยุกต์ใช้งาน GaAs บน Ge ซึ่งจะมีความสำคัญต่อการปลูกโครงสร้างนาโนทั้งของ InAs/GaAs และ GaSb/GaAs ซึ่งจะนำไปใช้งานด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์ต่อไป ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานสารประกอบกึ่งตัวนำกลุ่ม III-V บน Ge Substrates มีให้เห็นในการประดิษฐ์สร้าง TANDEM Solar Cells ซึ่งเป็นโซลาร์เซลล์ประสิทธิภาพสูงที่อาศัยโครงสร้างที่มีโซลาร์เซลล์กลุ่ม III-V หลาย ๆ ตัวซ้อนอยู่กับ Ge Solar Cells ที่มีการตอบสนองต่อช่วงสเปกตรัมอินฟราเรดได้ดี แนวคิดเดียวกันนี้สามารถประยุกต์กับสิ่งประดิษฐ์ประเภท Infrared Detectors ด้วย งานวิจัยในส่วนนี้จึงเป็นงานบุกเบิกที่ใหม่และมีคุณค่าทางวิชาการสูง

Outputs ที่ได้จากโครงการวิจัย

1. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในช่วงรับทุน “ศาสตราจารย์วิจัยดีเด่นของ สกว.”

1.1 บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ จำนวน 26 เรื่อง (เอกสารแนบในภาคผนวก)

- 1.1.1 “Extended Optical Properties Beyond Band-Edge of GaAs by InAs Quantum Dots and Quantum Dot Molecules”, Ongarj Tangmettajittakul, Supachok Thainoi, Pornchai Changmoang, Songphol Kanjanachuchai, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, Journal of Microelectronic Engineering, Vol. 87, pp. 1304-1307, 2010.
- 1.1.2 “Temperature-Dependent Photoluminescent Characteristics of Lateral InGaAs Quantum Dot Molecules”, Songphol Kanjanachuchai, Nitidet Thudsalingkarnsakul, Naparat Siripitakchai, Pornchai Changmoang, Supachok Thainoi, and Somsak Panyakeow, Journal of Microelectronics Engineering, Vol. 87, pp. 1352-1356, 2010.
- 1.1.3 “Influence of Crystallization Temperature on InP Ring-Shaped Quantum-Dot Molecules Grown by Droplet Epitaxy”, Wipakorn Jevasuwan, Poonyasiri Boonpeng, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, Journal of Microelectronic Engineering, Vol. 87, pp. 1416-1419, 2010.
- 1.1.4 “Fabrication of Self-Assembled InGaAs Squarelike Nanoholes on GaAs(001) by Droplet Epitaxy”, Poonyasiri Boonpeng, Wipakorn Jevasuwan, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 49, pp. 1-3, 2010.
- 1.1.5 “Growth and Characterization of InP Ringlike Quantum-Dot Molecules Grown by Solid-Source Molecular Beam Epitaxy”, Wipakorn Jevasuwan, Poonyasiri Boonpeng, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol. 10, pp.7291-7294, 2010.
- 1.1.6 “Quadra-Quantum Dots and Related Patterns of Quantum Dot Molecules: Basic Nanostructures for Quantum Dot Cellular Automata Application”, Somsak Panyakeow, Cellular Automata-Innovative Modelling for Science and Engineering, Edited by Alejandro Salcido, 2011., and in Engineering Journal, Vol. 14, Issue 4, pp. 41-56, October, 2010.
- 1.1.7 “Bimodal Optical Characteristics of Lateral InGaAs Quantum Dot Molecules”, Natapong Thongkamkoon, Nirat Patanasemakul, Naparat Siripitakchai, Supachok Thainoi,

- Somsak Panyakeow, and Songphol Kanjanachuchai, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 323, pp. 206-210, 2011.
- 1.1.8 “Self-Assembled InAs Quantum Dots on Anti-Phase Domains of GaAs on Ge Substrates”, Wichit Tantiweerasophon, Supachok Thainoi, Pornchai Changmoang, Songphol Kanjanachuchai, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 323, pp. 254-258, 2011.
 - 1.1.9 “Transformation of Concentric Quantum Double Rings to Single Quantum Rings with Squarelike Nanoholes on GaAs(001) by Droplet Epitaxy”, Poonyasiri Boonpeng, Wipakorn Jevasuwan, Noppadon Nuntawong, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 323, pp. 271-274, 2011.
 - 1.1.10 “InP Ring-Shaped Quantum-Dot Molecules Grown by Droplet Molecular Beam Epitaxy”, Wipakorn Jevasuwan, Poonyasiri Boonpeng, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 323, pp. 275-278, 2011.
 - 1.1.11 “Surface Morphology and Photoluminescence of InGaAs Quantum Rings Grown by Droplet Epitaxy with Varying $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ Droplet Amount”, Naraporn Pankaow, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 323, pp. 282-285, 2011.
 - 1.1.12 “Optical Properties of As-Grown and Annealed InAs Quantum Dots on InGaAs Cross-Hatch Patterns”, Chalermchai Himwas, Somsak Panyakeow and Songphol Kanjanachuchai, *Journal of Nanoscale Research Letters*, pp.1-7, 2011.
 - 1.1.13 “Growth, Optical and Structural Characterization of InP Nanostructures With $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{P}$ Insertion Layer”, Soe Soe Han, Somsak Panyakeow, Somchai Ratanathamphan, Akio Higo, Yunpeng Wang, Momoko Deura, Masakasu Sugiyama and Yoshiaki Nakano, *Journal of ASEAN Engineering*, Vol. 1, No. 2 pp. 69-75, August 2011.
 - 1.1.14 “ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ Quantum Rings Grown by Droplet Epitaxy”, Naraporn Pankaow, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, *Journal of American Institute of Physics*, pp. 227-228, 2011.

- 1.1.15 “Nucleation Sequence of InAs Quantum Dots on Cross-Hatch Patterns”, Songphol Kanjanachuchai and Teeravat Limwongse, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 11, pp. 10787-10791, 2011.
- 1.1.16 “Chirped InGaAs Quantum Dot Molecules for Broadband Applications”, Nirat Patanasemakul, Somsak Panyakeow, and Songphol Kanjanachuchai, *Journal of Nanoscale Research Letters*, Vol. 7:207, 2012.
- 1.1.17 “The Effect of Thin Gap Insertion Layer on InP Nanostructure Grown by Metal-Organic Vapour Phase Epitaxy”, Soe Soe Han, Somsak Panyakeow, Somchai Ratanathammaphan, Akio-Higo, Wang Yunpeng, Momoko Deura, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 90, pp. 915-918, August, 2012.
- 1.1.18 “Evolution of Self-Assembled InAs Quantum-Dot Molecules by Molecular Beam Epitaxy”, Ongarj Tangmettjittakul, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, *Journal of Physica Status Solidi C* 9, No. 7, pp. 1534-1536, 2012.
- 1.1.19 “Formation of GaP Nanostructures on GaAs (100) by Droplet Molecular Beam Epitaxy”, Patchareewan Prongjit, Naraporn Pankaow, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, *Journal of Physica Status Solidi C* 9, No. 7, pp. 1540-1542, 2012.
- 1.1.20 “InGaAs Quantum-Dot-In-Ring Structure by Droplet Epitaxy”, Poonyasiri Boonpeng, Suwit Kiravittaya, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 378, pp. 435-438, 2013.
- 1.1.21 “Polarization Anisotropy of Stacked InAs Quantum Dots on InGaAs/GaAs Cross-Hatch Patterns”, Thitipong Chokamnui, Panupong Rattanadon, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Songphol Kanjanachuchai, *Journal of Crystal Growth*, Vol. 378, pp. 524-528, 2013.
- 1.1.22 “Ring-to-Dots Transformation of InGaAs Quantum Rings Grown by Droplet Epitaxy”, Naraporn Pankaow, Patchareewan Prongjit, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, *Journal of Microelectronic Engineering*, Vol. 110, pp. 298-301, 2013.

- 1.1.23 “Effect of GaP and GaP/InGaP Insertion Layers on The Structural and Optical Properties of InP Quantum Dots Grown by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy”, S.S. Han, A. Higo, W. Yunpeng, M. Deura, M. Sugiyama, Y. Nakano, S. Panyakeow, and S. Ratanathamphan, Journal of Microelectronic Engineering, Vol. 112, pp. 143-148, 2013.
- 1.1.24 “InGaAs Quantum Dots on Cross-Hatch Patterns as a Host for Diluted Magnetic Semiconductor Medium”, Teeravat Limwongse, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Songphol Kanjanachuchai, Journal of Nanomaterials, Vol. 2013, Article ID 791782, 2013.
- 1.1.25 “GaP Ring-like Nanostructures on GaAs (100) with $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ Compensation Layers”, Patchareewan Prongjit, Naraporn Pankaow, Poonyasiri Boonpeng, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, Journal of The Physics of Semiconductors, pp. 455-456, 2013.
- 1.1.26 “Asymmetrical $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ Quantum Rings and Their Optical Properties”, Ongarj Tangmettjittakul, Pornchai Changmuang, Supachok Thainoi, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, Journal of The Physics of Semiconductors, pp. 542-543, 2013.

1.2 บทความวิจัยที่นำเสนอต่อการประชุมวิชาการในประเทศ จำนวน 18 เรื่อง ในจำนวนนี้เป็น Invited Talks จำนวน 5 เรื่อง (เอกสารแนบในภาคผนวก)

- 1.2.1 “Effect of Substrate Position on the Formation of ZnO Nanostructures Synthesized by Thermal Evaporation of ZnO-CNTs Mixture”, Sukum Pitayapiboonpong, Songphol Kanjanachuchai, Ditsayut Phokharatkul, Adisorn Tuantranont, and Anurat Wisitsoraat, ECTI-CON 2010, The Empress Convention Centre, Chiang Mai, Thailand, 19-21 May, 2010.
- 1.2.2 “Improved Effective One-Dimensional Electronic Structure of InGaAs Quantum Dot Molecules”, Nirat Pattanemakul, Natapong Thongkamkoon, Nitidet Thudsalingkarnsakul, Napat Siripitakchai, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Songphol Kanjanachuchai, ECTI-CON 2010, The Empress Convention Centre, Chiang Mai, Thailand, 19-21 May, 2010.

- 1.2.3 “Quantum Nanostructures for High Speed and Energy Efficient Nanoelectronic and Nanophotonic Devices”, (Invited Talk), Somsak Panyakeow, 10th Annual Meeting of Thailand Research Fund, Holiday Inn Resort Regent Beach, Cha-am, Petchburi, 14-16 October, 2010.
- 1.2.4 “Theoretical Study of Linear Polarization Degree on Self-Assemble Aligned Quantum Dots”, Chonlakorn Chiewpanich, Somsak Panyakeow, Somchai Ratanathamaphan, and Chanin Wissawinthanon, Nanotechnology for a Sustainable World, NanoThailand 2010, Convention Center, Thailand Science Park, Pathumthani, pp. 180-181, 18-20 November, 2010.
- 1.2.5 “The Effect of Thin Gap Insertion Layer on InP Nanostructure by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy”, Soe Soe Han, Somsak Panyakeow, Somchai Ratanathamaphan, Akio Higo, Wang Yunpeng, Momoko Deura, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, Nanotechnology for a Sustainable World, NanoThailand 2010, Convention Center, Thailand Science Park, Pathumthani, pp. 13-14, 18-20 November, 2010.
- 1.2.6 “Novel Nanoelectronic and Nanophotonic Devices” (Invited Paper), Somsak Panyakeow, NanoThailand 2010, Convention Center, Thailand Science Park, Pathumthani, 19 November, 2010.
- 1.2.7 “Surface Morphology of Stacked InAs Quantum Dots on Cross-Hatch Substrates”, Chalermchai Himwas, Somsak Panyakeow, and Songphol Kanjanachuchai, The 33rd Electrical Engineering Conference (EECON-33), Centara Duangtawan Hotel, Chiangmai, Thailand, pp. 1141-1144, 1-3 December, 2010.
- 1.2.8 “Fabrication of $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ Square-like Nanohole Templates on GaAs(001) for Quantum Dot Molecules”, Poonyasiri Boonpeng, Wipakorn Jevasuwan, Pornchai Changmoang, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamaphan, The 33rd Electrical Engineering Conference (EECON-33), Centara Duangtawan Hotel, Chiangmai, Thailand, pp. 1165-1168, 1-3 December, 2010.
- 1.2.9 “Transformation of Concentric Quantum Double Rings to Single Quantum Rings with Squarelike Nanoholes on GaAs(001) by Droplet Epitaxy”, Poonyasiri Boonpeng, Wipakorn Jevasuwan, Supachok Thainoi, Somchai Ratanathamaphan and Somsak Panyakeow, RGJ-Ph.D. Congress XII, The Royal Golden Jubilee Ph.D. Program, The Thailand Research Fund, Jomtien Palm Beach Resort, Pattaya, Chonburi, pp. 251,

1-3 April, 2011.

- 1.2.10 “Quantum Nanostructures for Solar Cell Applications”, Somsak Panyakeow, Chulalongkorn University, International Workshop on Nanotechnology, Auditorium Hall, 2nd Floor, Chareonvisawakam Building, Chulalongkorn University, 14 July, 2011.
- 1.2.11 “Nanostructures for Solar Cell Applications”, (Invited Talk), Somsak Panyakeow, German-Thai Symposium on Nanoscience and Nanotechnology (GTSNN-2011), Green Nanotechnology for the Future, Suranaree University, Nakorn Ratchasima, 13-16 September, 2011.
- 1.2.12 “Quantum Nanostructures for Nanoelectronics, Nanophotonics and Solar Cell Development”, (Invited Talk), Somsak Panyakeow, The Thailand Research Fund, 19 October, 2011.
- 1.2.13 “Study on Photovoltaic Effect of Quantum Nanostructure Grown on (100) GaAs Substrate”, Ongarj Tangmettjittakul, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, RGJ-Ph.D. Congress XIII, The Royal Golden Jubilee Ph.D. Program, The Thailand Research Fund, Jomtien Palm Beach Resort, Pattaya, Chonburi, 6-8 April, 2012.
- 1.2.14 “Effects of Structural Inhomogeneity on Electron Confinement in Semiconductor Quantum Rings”, Suwit Kiravittaya, Poonyasiri Boonpeng, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, 35th Electrical Engineering, Conference (EECON-35), Nakhonnayok, Bangkok, Thailand, pp. 1025-1028, 12-14 December, 2012.
- 1.2.15 “Influence of Growth Temperature on InAs Quantum Dots”, Maetee Kunrugs, Patchareewan Prongjit, Poonyasiri Boonpeng, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, Proceedings of The 2013 International Electrical Engineering Congress (iEECON2013), Chiangmai, Thailand, pp. 181-184, 13-15 March, 2013.
- 1.2.16 “Simple Energetic Estimation of Electronic States in Quantum-Dot Cellular Automata”, Suwit Kiravittaya, Poonyasiri Boonpeng, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, Proceedings of The 2013 International Electrical Engineering Congress (iEECON2013), Chiangmai, Thailand, pp. 197-200, 13-15 March, 2013.
- 1.2.17 “Energetic Favorite of Quantum Dot Formation in Ring-Shaped InP Quantum-Dot Molecules” Suwit Kiravittaya, Wipakorn Jevasuwan, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunication

and Information Technology (ECTI-CON 2013), Krabi, Thailand, 15-17 May, 2013.

- 1.2.18 “Quantum Nanophotonic Devices for Night Vision Applications”, (Invited Talk), Somsak Panyakeow, 13rd Annual Meeting of Thailand Research Fund, Holiday Inn Resort Regent Beach, Cha-am, Petchburi, 16-18 October, 2013.

1.3 บทความวิจัยที่นำเสนอต่อการประชุมวิชาการในต่างประเทศ จำนวน 47 เรื่อง ในจำนวนนี้เป็น Invited Talks จำนวน 10 เรื่อง (เอกสารแนบในภาคผนวก)

- 1.3.1 “A Si-Doped GaAs/AlGaAs Solar Cell on (311) A GaAs Substrate”, Ongarj Tangmattajittakul, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, Compound Semiconductor Photonics Materials, Devices and Integration, pp. 149-151, 2010.
- 1.3.2 “InGaAs Ring-Shaped Nanostructures Grown by Droplet Epitaxy”, Naraporn Pankaow, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, Compound Semiconductor Photonics Materials, Devices and Integration, pp. 152-154, 2010.
- 1.3.3 “Effect of Substrate Temperature on $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}/\text{GaAs}$ (001) Nanohole Templates Grown by Droplet Molecular Beam Epitaxy”, Poonyaseri Boonpeng, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, Compound Semiconductor Photonics Materials, Devices and Integration, pp. 158-160, 2010.
- 1.3.4 “Dependency of In Thickness on the Properties of Self-assembled InP Ring-Shaped Nanostructures Grown by Droplet Molecular Beam Epitaxy”, Wipakorn Jevasuwan, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, Compound Semiconductor Photonics Materials, Devices and Integration, pp. 161-163, 2010.
- 1.3.5 “Effect of Thickness of GaP Ultra-Thin Insertion Layer on the Structural and Optical Properties of InP Quantum Dots”, Soe Soe Han, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, Compound Semiconductor Photonics Materials, Devices and Integration, pp. 176-178, 2010.
- 1.3.6 “Improved Spectral Response of Quantum Dot Solar Cells Using InAs Multi-stack High Density Quantum Dot Molecules” Ongarj Tangmattajittakul, Pornchai Changmoang, Supachok Thainoi, Songphol Kanjanachuchai, Somchai Ratanathammaphan, and Somsak Panyakeow, MRS Spring Meeting 2010, San Francisco, USA, 5-9 April, 2010.

- 1.3.7 “Study on Spectral Response of Schottky-Type Multi-Stack High Density Quantum Dot Molecule Photovoltaic Cells at Concentrated Light” Ongarj Tangmettjittakul, Supachok Thainoi, Pornchai Changmoang, Songphol Kanjanachuchai, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, 35th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, Hawaii, USA, 20-25 June, 2010.
- 1.3.8 “ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ Quantum Rings Grown by Droplet Epitaxy”, Naraporn Pankaow, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, The 30th International Conference on the Physics of Semiconductors, Seoul, Korea, 25-30 July, 2010.
- 1.3.9 “Transformation of Concentric Quantum Double Rings to Single Quantum Rings with Squarelike Nanoholes on $\text{GaAs}(001)$ by Droplet Epitaxy”, Poonyasiri Boonpeng, Wipakorn Jevasuwan, Supachok Thainoi, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, The 16th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2010), Berlin, Germany, pp. 6, 22-27 August, 2010.
- 1.3.10 “ InP Ring-shaped Quantum-dot Molecules Grown by Droplet Molecular Beam Epitaxy”, Wipakorn Jevasuwan, Poonyasiri Boonpeng, Supachok Thainoi, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, The 16th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2010), Berlin, Germany, pp. 11, 22-27 August, 2010.
- 1.3.11 “Growth and Photoluminescence of Lateral InGaAs Quantum Dot Molecules”, Songphol Kanjanachuchai, Natapong Thongkamkoon, Naparat Siripitakchai, Supachok Thainoi, and Somsak Panyakeow, The 16th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2010), Berlin, Germany, pp. 12, 22-27 August, 2010.
- 1.3.12 “MBE Growth Process and PL Characterization of Multi-stack QDs and Multi-stack High Density QDMs”, Ongarj Tangmettjittakul, Supachok Thainoi, Pornchai Changmoang, Songphol Kanjanachuchai, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, The 16th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2010), Berlin, Germany, pp. 18, 22-27 August, 2010.
- 1.3.13 “Self-Assembled Quantum Dots on Anti-Phase Domains of GaAs on Ge Substrates”, Wichit Tantiweerasophon, Supachok Thainoi, Pornchai Changmoang, Songphol Kanjanachuchai, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, The 16th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2010), Berlin, Germany, pp. 18, 22-27 August, 2010.

- 1.3.14 “Surface Morphology and Photoluminescence of InGaAs Quantum Rings Grown by Droplet Epitaxy with Varying $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ -droplet Amount”, Naraporn Pankaow, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamphan, The 16th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2010), Berlin, Germany, pp. 19, 22-27 August, 2010.
- 1.3.15 “Development of High Performance Solar Cell and Their Potential Application in Greater Mekhong Subregion”, Bounpone Keomanivong, Ongarj Tangmettjittakul, Supachok Thainoi, Pornchai Changmoang, Naebboon Hoonchareon, Choopol Antarasena, and Somsak Panyakeow, 5th GMSARN International Conference on “Sustainable Development and Climate Change: Challenges and Opportunity in GMS”, Luang Prabang City, Lao PDR, 17-19 November, 2010.
- 1.3.16 “Effect of GaP and $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{P}$ Insertion Layers on the Properties of InP Nanostructures by Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy”, Soe Soe Han, Somsak Panyakeow, Somchai Ratanathamphan, Akio Higo, Wang Yunpeng, Momoko Deura, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, The International Conference on Science and Engineering (ICSE 2010), Yangon, Myanmar, December 2-3, 2010.
- 1.3.17 “Basic Research on Nanoelectronics: Myanmar-Thailand Connection Since 2001”, (Keynote Speakers), Somsak Panyakeow, The First International Conference on Science and Engineering (ICSE 2010), Sedona Hotel, Yangon, Myanmar, 2-3 December, 2010.
- 1.3.18 “Effect of Thermal Annealing on the Photoluminescence of Self-Assembled InGaAs/GaAs Quantum Rings with Squarelike Nanoholes by Droplet Epitaxy”, P. Boonpeng, A. Arnoult, G. Lacoste, G. Almuneau, O. Gauthier-Lafaye, S. Ratanathamphan, S. Panyakeow, and C. Fontaine, Euro-MBE 2011, L’Alpe d’Huez, France, 20-23 March, 2011.
- 1.3.19 “InGaAs and InP Nano-Templates by Droplet Epitaxy for Self-Assembled Quantum Dot Molecules”, Poonyasiri Boonpeng, Naraporn Pankaow, Wipakorn Jevasuwan, Somchai Ratanathamphan and Somsak Panyakeow, (Invited Talk) Villa Conference on Interactions Among Nanostructures (VCIAN 2011), Red Rock Casino, Resort & Spa, Las Vegas, Nevada, U.S.A., 21-25 April, 2011.

- 1.3.20 “Photovoltaic Technical Conference-Thin Film & Advanced Solutions 2011-Utilization of GaAs/AlGaAs Quantum Rings in Solar Cell Structure”, Ongarj Tangmettjittakul, Pornchai Changmoang, Supachok Thainoi, Somchai Ratanathamaphan, and Somsak Panyakeow, PVTC 2011 (Photovoltaic Technical Conference), Aix-en-Provence, France, 25-27 May, 2011.
- 1.3.21 “Quantum Nanostructures in Solar Cell Development”, (Invited Talk), Somsak Panyakeow, LAAS-CNRS, Toulouse, France, 30 May, 2011.
- 1.3.22 “Formation of GaP Nanostructures on GaAs (100) by Droplet Molecular Beam Epitaxy”, Patchareewan Prongjit, Naraporn Pankaow, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamaphan, 16th Semiconducting and Insulating Materials Conference, KTH, Stockholm, Sweden, pp. 14, 19-23 June, 2011.
- 1.3.23 “Evolution of Self-Assembly InAs Quantum-Dot Molecules by Molecular Beam Epitaxy”, Ongarj Tangmettjittakul, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamaphan, 16th Semiconducting and Insulating Materials Conference, KTH, Stockholm, Sweden, pp. 15, 19-23 June, 2011.
- 1.3.24 “GaAs/AlGaAs Quantum Nanostructure by Droplet Epitaxy for Photovoltaic Application”, Ongarj Tangmettjittakul, Poonyasiri Boonpeng, Pornchai Changmoang, Supachok Thainoi, Somchai Ratanathamaphan, and Somsak Panyakeow, 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Washington, U.S.A., 19-24 June, 2011.
- 1.3.25 “Fabrication of GaP Nanostructures on GaAs (100) Substrates by Droplet Molecular Beam Epitaxy”, Patchareewan Prongjit, Ongarj Tangmettjittakul, Supachok Thainoi, Naraporn Pankaow, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathamaphan, 28th North American Molecular Beam Epitaxy Conference, University of California, San Diego, 14-17 August, 2011.
- 1.3.26 “Comparison of GaP and InGaP Insertion Layers Effect on the Structural and Optical Properties of InP Nanostructures”, Somchai Ratanathamaphan, 37th International Conference on Micro and Nano Engineering (MNE-2011), Berlin, Germany, pp. 62, 19-23 September, 2011.
- 1.3.27 “Integration of InGaAs/AlGaAs Quantum Ring to Solar Cell Structure”, Ongarj Tangmettjittakul, Supachok Thainoi, Somchai Ratanathamaphan, and Somsak Panyakeow, The 21st International Photovoltaic Science and Engineering Conference

(PVSEC-21), Fukuoka, Japan, 28 November-2 December, 2011.

- 1.3.28 “Fascination in Science and Engineering: Quantum Nanostructures for Novel Photonic Devices”, (Plenary Talk) Somsak Panyakeow, The Third International Conference on Science and Engineering (ICSE 2011), Sedona Hotel, Yangon, Myanmar, 1-2 December, 2011.
- 1.3.29 “Tensile Strained, Type II, GaP/GaAs Nanostructures”, Patchareewan Prongjit, Naraporn Pankaow, Poonyasiri Boonpeng, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, NanoThailand 2012, Nanotechnology for The Benefits of Mankind, International Conference, Pullman Raja Orchid Khon Kaen Hotel, Khon Kaen, pp. 79, 9-11 April, 2012.
- 1.3.30 “Evolution of $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}$ Droplets into $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ Nanostructures”, Poonyasiri Boonpeng, Alexandre Arnoult, Guy Lacoste, Guilhem Almuneau, Olivier Gauthier-Lafaye, Somchai Ratanathammaphan, Somsak Panyakeow, and Chantal Fontaine, NanoThailand 2012, Nanotechnology for The Benefits of Mankind, International Conference, Pullman Raja Orchid Khon Kaen Hotel, Khon Kaen, pp. 168, 9-11 April, 2012. (Best Poster Award)
- 1.3.31 “GaP Ring-like Nanostructures on GaAs (100) Substrates with $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ Compensation Layers”, Patchareewan Prongjit, Naraporn Pankaow, Poonyasiri Boonpeng, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, The 31st International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS-2012), Zurich, Switzerland, pp. 124, 29 July-3 August, 2012.
- 1.3.32 “Asymmetrical $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ Quantum Rings and Their Optical Properties”, Ongarj Tangmettjittakul, Pornchai Changmuang, Supachok Thainoi, Songphol Kanjanachuchai, Somchai Ratanathammaphan, and Somsak Panyakeow, The 31st International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS-2012), Zurich, Switzerland, 269, 29 July-3 August, 2012.
- 1.3.33 “Ring-to-Dots Transformation of InGaAs Quantum Rings Grown by Droplet Epitaxy”, Naraporn Pankaow, Patchareewan Prongjit, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, The 38th International Conference on Micro and Nano Engineering (MNE 2012), Toulouse, France, 16-20 September, 2012.

- 1.3.34 “Evolution of Quantum Ring to Quantum Dot in Ring on GaAs (001) Grown by Droplet Epitaxy”, Poonyasiri Boonpeng, Supachok Thainoi, Somsak Panyakeow and Somchai Ratanathammaphan, The 17th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2012), Nara, Japan, 23-28 September, 2012.
- 1.3.35 “Multi-stacked InAs Quantum Dot Chains on InGaAs/GaAs Cross-Hatch Patterns”, T. Chockumnoey, Somsak Panyakeow, and Songphol Kanjanachuchai, The 17th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE 2012), Nara, Japan, 23-28 September, 2012.
- 1.3.36 “Complex Nanostructures of Semiconductor Quantum Rings and Quantum Dots by Molecular Beam Epitaxy”, (Invited Talk), Poonyasin Boonpeng, Naraporn Pankaow, Suwit Kiravittaya, Somchai Ratanathammaphan, and Somsak Panyakeow, Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG 2012), at Orlando, Florida, U.S.A., 10-14 December, 2012.
- 1.3.37 “Effects of Sb₄ Soaking Time and Low V/III Ratio on GaSb/GaAs Quantum Dots”, Maetee Kunrugsas, Patchareewan Prongjit, Naraporn Pankaow, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, 7th International Conference on Materials for Advanced Technologies, (ICMAT-2013), Singapore, 30 June-5 July, 2013.
- 1.3.38 “A Hybrid Growth of Self-Assembled InAs/GaAs Quantum Dots”, Maetee Kunrugsea, Patchareewan Prongjit, Naraporn Pankaow, Somsak Panyakeow, and Somchai Ratanathammaphan, 7th International Conference on Materials for Advanced Technologies, (ICMAT-2013), Singapore, 30 June-5 July, 2013.
- 1.3.39 “Quantum-Dot Ring Formation by Strained Droplet Epitaxy”, Suwit Kiravittaya, Poonyasiri Boonpeng, Wipakorn Jevasuwan, Somchai Ratanathammaphan, and Somsak Panyakeow, 17th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-17) Warsaw, Poland, 11-16 August, 2013.
- 1.3.40 “Molecular Beam Epitaxial Growth of GaSb Quantum Dots on Ge Substrates”, Suwit Kiravittaya, Maetee Kunrugsas, Suwat Sopitpan, Somchai Ratanathammaphan, and Somsak Panyakow, 17th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-17), Warsaw, Poland, 10-16 August, 2013.

- 1.3.41 “Design of PV System for Simultaneous Direct and Diffused Sunlight Application Using Line Concentrator” Pornchai Changmuang, Pattaha Pantuwong, Supachok Thainoi, Songphol Kanjanachuchai, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, 28th European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EU-PVSEC 2013), Paris, France, 30 September-4 October, 2013.
 - 1.3.42 “GaSb/GaAs Quantum Dots on (001) Ge Substrates for Photovoltaic Applications”, Suwit Kiravittaya, Maetee Kunruga, Supachok Thainoi, Songphol Kanjanachuchai, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, The 23rd International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-23), Taipei, Taiwan, 28 October-1 November, 2013.
 - 1.3.43 “Photovoltaic Research, Manufacturing and Applications in Thailand”, (Invited Talk), Somsak Panyakeow, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan, 30 October, 2013.
 - 1.3.44 “Research on Quantum Nanostructures for New Generation Solar Cells and Infrared Detectors for Night Vision Applications” (Invited Talk), Somsak Panyakeow, The Fourth International Conference on Science and Engineering, (ICSE 2013), Sedona Hotel, Yangon, Myanmar, 9-10 December, 2013.
 - 1.3.45 “Perspective of Solar Cell Research and Application” (Plenary Talk), Somsak Panyakeow, The Fourth International Conference on Science and Engineering, (ICSE 2013), Sedona Hotel, Yangon, Myanmar, 9-10 December, 2013.
 - 1.3.46 “Research Motivation on Nanoelectronics”, (Invited Talk), Somsak Panyakeow, Yangon University, 10 December, 2013.
 - 1.3.47 “Solar Cell Research and Applications”, (Invited Talk), Somsak Panyakeow, National Management College, Yangon, 13 December, 2013.
- 1.4** มีการเขียนตำรา จำนวน 1 เรื่อง และ “Contributed Chapter” ในหนังสือ Text book ต่างประเทศ จำนวน 2 เรื่อง (เอกสารแนบในภาคผนวก)
- 1.4.1 “Quadra-Quantum Dots and Related Patterns of Quantum Dot Molecules: Basic Nanostructures for Quantum Dot Cellular Automata Application”, Somsak Panyakeow, Cellular Automata-Innovative Modelling for Science and Engineering, Edited by Alejandro Salcido, 2011.

- 1.4.2 “InP Ring-Shaped Quantum Dot Molecules by Droplet Epitaxy”, Wipakorn Jevasuwan, Somchai Ratanathamphan, and Somsak Panyakeow, in *Quantum Dot Molecules*, Jiang Wu, Zhiming M. Wang, Eds., Springer, New York, 2014.
- 1.4.3 “Optical Properties of Lateral InGaAs Quantum Dot Molecules Single- and Bi-Layers”, Songphol Kanjanachuchai, Nirat Patanasemakul, Natapong Thongkamkoon, Nitidet Thudsalingkarnsakul, Naparat Siripitakchai, Pornchai Changmoang, Supachok Thainoi, and Somsak Panyakeow, in *Quantum Dot Molecules*, Jiang Wu, Zhiming M. Wang, Eds., Springer, New York, 2014.

1.5 หนังสือที่จัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 1 เล่ม (เอกสารแนบในภาคผนวก)

- 1.5.1 จิวแต่แจ้ว : “นาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์” ผู้เขียน สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว จัดพิมพ์โดย สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2557.

1.6 การยื่นขอจดสิทธิบัตร จำนวน 3 เรื่อง (เอกสารแนบในภาคผนวก)

- 1.6.1 อุปกรณ์ติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์สำหรับระบบรวมแสงความเข้มสูงที่ใช้การวิเคราะห์ภาพด้วยกล้องซีซีดีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.6.2 ระบบรวมแสงความเข้มสูงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานได้ทั้งแสงอาทิตย์ตรงและแสงอาทิตย์กระจาย
- 1.6.3 ระบบรวมแสงแบบเส้นสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานได้ทั้งแสงอาทิตย์ตรงและแสงอาทิตย์กระจาย

ผลงานวิจัยทั้งหมดที่ได้รับการสนับสนุนทั้ง “ทุนเมธีวิจัยอาวุโสของสกว.” และ “ทุนศาสตราจารย์วิจัยดีเด่นของ สกว.” ได้ถูกนำมาประมวลเขียนเป็นหนังสือชื่อ “จิวแต่แจ้ว : นาโนอิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์” (ดูเอกสารประกอบ) ซึ่งเขียนเป็นภาษาไทยเพื่อให้เยาวชนที่สนใจงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้อ่าน หนังสือเล่มนี้กำลังอยู่ในระหว่างการจัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กิจกรรมเขียนหนังสือจากผลงานวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สกว. นี้เป็นเงื่อนไขส่วนหนึ่งของ “ทุนศาสตราจารย์ดีเด่นของ สกว.” ที่ผู้วิจัยได้ทุ่มเทเขียนขึ้นในระยะ 3 ปีที่ผ่านมา

งานวิจัยเกี่ยวกับ Quantum Dot Solar Cells ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของงานด้านวิศวกรรมในการพัฒนาโซลาร์เซลล์ชนิดใหม่ ซึ่งมีศักยภาพสูงสำหรับการใช้งานกับแสงอาทิตย์ความเข้มสูง ทำให้เกิดแนวคิดใหม่ ๆ ที่เป็นนวัตกรรมด้าน Photovoltaic Concentrator Systems ที่จะใช้งานกับแสงอาทิตย์ที่เป็นทั้ง

Direct Sunlight (แสงอาทิตย์ตรง) และ Diffused Sunlight (แสงอาทิตย์กระจาย) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของสภาพแสงอาทิตย์ในประเทศไทย จึงนำมาสู่การยื่นขอจดสิทธิบัตรจำนวน 3 เรื่อง

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เป็นผลผลิตของโครงการวิจัย “หยั่งรากศิษย์ก้นกุฏิ: นานออิเล็กทรอนิกส์และนาโนโฟโตนิกส์” ด้วยการสนับสนุนจากทุน “ศาสตราจารย์วิจัยดีเด่นของ สกว.” ประกอบด้วย

1. บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ จำนวน 26 เรื่อง
2. บทความวิจัยที่นำเสนอต่อการประชุมวิชาการในประเทศ จำนวน 18 เรื่อง ในจำนวนนี้เป็น Invited Talks จำนวน 5 เรื่อง
3. บทความวิจัยที่นำเสนอต่อการประชุมวิชาการในต่างประเทศ จำนวน 47 เรื่อง ในจำนวนนี้เป็น Invited Talks จำนวน 10 เรื่อง
4. มีการเขียนตำรา 1 เรื่อง และ “Contributed Chapter” ในหนังสือ Text book ต่างประเทศ จำนวน 2 เรื่อง
5. หนังสือที่จัดพิมพ์โดยสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 1 เล่ม
6. การยื่นขอจดสิทธิบัตร จำนวน 3 เรื่อง

ลงนาม

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

หัวหน้าโครงการวิจัย